



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

PŘESNÉ KOVÁNÍ
PRECISION FORGING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MARTIN BERKA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. ZDENĚK LIDMILA, CSc.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Martin Berka

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Přesné kování

v anglickém jazyce:

Precision forging

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Snaha o snižování výrobních nákladů vede k hledání nových technologických postupů i v oblasti zápustkového kování. Rozvíjeny jsou tak metody přesného kování, jejichž cílem je přiblížit tvar a rozměry výkovku finální součásti. To se příznivě projeví jak snížením nákladů na materiál, tak i nákladů spojených s dokončujícím obráběním.

Práce bude obsahovat rozbor metod, postupů a možností zápustkového kování s výronkem. Přehled, popis a rozbor možných metod přesného kování. Technické zhodnocení metod přesného kování s ohledem na investiční náročnost a očekávaný přínos.

Cíle bakalářské práce:

Práce bude obsahovat rozbor metod, postupů a možností zápustkového kování s výronkem. Přehled, popis a rozbor možných metod přesného kování. Technické zhodnocení metod přesného kování s ohledem na investiční náročnost a očekávaný přínos.

Seznam odborné literatury:

1. ASM-Metals Handbook: Forming and Forging. Vol.14. USA ASM International, 2004. S.978. ISBN 0-87170-020-4
2. SAMEK, Radko, Zdeněk LIDMILA a Eva ŠMEHLÍKOVÁ. Speciální technologie tváření. Část II. 1. vyd. Brno: CERM, 2011. 155s. ISBN 978-80-214-4406-5
3. ČERMÁK, Jan. Přesné zápustkové kování. FORM 2000. s.43-48. ISBN 80-214-1661-0
4. LIDMILA, Zdeněk. Teorie a technologie tváření II. 1.vyd. UO Brno. 2008. 106 s. ISBN 978-80-7231-580-2
5. NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-04016.
6. KOTOUC, Jiří, et al. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Praha: Vydavatelství CVUT, 1993. 349 s. ISBN 80-01-01003-1.

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 14.11.2013

L.S.

prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

BERKA Martin, Přesné kování

Tato bakalářská práce se zabývá technologií přesného kování. V práci je uvedeno základní rozdělení kování podle charakteru toku materiálu a jeho postup. Po úvodní části se tato práce zabývá rozborem metod zápusťkového kování s výronkem. V další části práce je obsažen popis, parametry a metody přesného kování. Na závěr je provedeno technicko-ekonomické zhodnocení dané technologie.

Klíčová slova

kování, výkovek, zápusťka, lis, buchar, přesné

ABSTRACT

BERKA Martin, Precision forging

This bachelor's thesis deals with the technology of precision forging. The thesis describes basic distribution of the forging according to the nature of the material flow and his procedure. After the introductory part this thesis deals with the analysis of the methods of the drop forging with fin groove. The next section contains a description, parameters and methods of precision forging. Technical a economical evaluation of the component technology is as a conclusion of the thesis.

Key words

forging, forged piece, die, press, hammer, precise

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BERKA, Martin. *Přesné kování*. Brno, 2014. 33 s., CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Přesné kování** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....
Datum

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto panu doc. Ing. Zdeňku Lidmilovi, CSc. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

OBSAH

Abstrakt

Bibliografická citace

Prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD	9
1 ROZDĚLENÍ A POSTUP KOVÁNÍ	10
1.1 Volné kování.....	10
1.2 Zápustkové kování.....	12
1.1 Rotační kování	14
2 STROJE PRO KOVÁNÍ	15
2.1 Kování na bucharech	16
2.2 Kování na svislých klikových lisech	18
2.3 Kování na vodorovných kovacíh lisech	20
2.4 Kování na vřetenových lisech.....	22
3 PŘESNÉ KOVÁNÍ	24
3.1 Technologické parametry	24
3.2 Metody přesného kování.....	26
3.2.1 Technologie izotermického kování.....	27
3.2.2 Kování přesných výkovků v uzavřeném nástroji.....	28
3.2.3 Kování přesných výkovků s horní kyvnou zápustkou	31
4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	32
5 ZÁVĚR	33

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

Seznam obrázků

Seznam tabulek

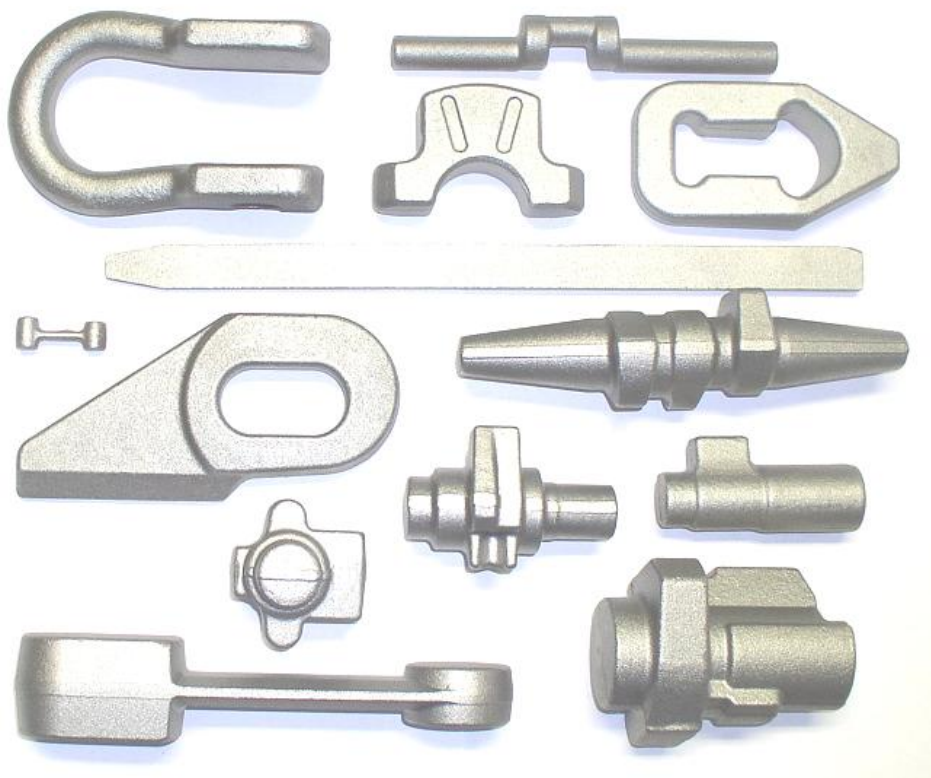
ÚVOD [8], [13], [16], [20], [21]

Kování patří k jednomu z nejstarších řemesel. O tom svědčí nejstarší doklad účtu z 30. století př. n. l. za dodané zbraně z bronzu. Kování se postupně vyvíjelo. V 17. století n. l. se začalo využívat tzv. vodního hamru, který využíval pro pohon energii vodního kola a který umožňoval kovat větší výkovky s menší námahou než za použití kladiva. V dnešní době je používáno u kování většinou tvářecích strojů, zejména lisů a bucharů.

Kování je jedním ze způsobu tváření materiálu. Tváření je zpracovávání materiálu za působení vnější síly bez odeírání třísky. Tváření se podle pŕevažujícího stavu napjatosti v deformovaném materiálu dělí na tváření plošné, kam můžeme zařadit napŕ. hluboké tažení, stŕihání a ohýbání, a na tváření objemové, kam patŕí napŕ. válcování, protlačování, ražení a již zmiňované kování.

Kováním se zpravidla rozumí objemové tváření za vyšších teplot. Poslední dobou se však mezi kování řadí i tvářecí operace za poloohřevu a dokonce i za studena. Ohřev na kovací teplotu by měl probíhat v nejkratším možném čase a neměl by ohrožovat povrchové a vnitřní jakosti materiálu. U správně zvoleného ohřevu se zvyšuje tvařitelnost materiálu a současně klesá jeho deformační odpor.

Téměř všechny kovy lze zpracovat kováním. Výkovek má zvýšené mechanické a fyzikální vlastnosti, příznivou makrostrukturu a výhodnou mikrostrukturu. Důraz klademe na nejmenší možnou spotřebu materiálu, na vysokou jakost materiálu, na ekonomii provozu a na příznivý průběh vláken. Příklady výkovků jsou zobrazeny na obr. 1.



Obr. 1 Výkovky [21].

1 ROZDĚLENÍ A POSTUP KOVÁNÍ [5], [9], [13], [16], [17], [18], [20], [23]

Kování lze dělit dle mnoha různých hledisek. Jedním z nejzákladnějších rozdělení je rozdělení podle charakteru toku materiálu na volné kování, zápustkové kování a rotační kování. Dále můžeme dělit kování, jak již bylo zmíněno v úvodu, podle teplot na kování za tepla, kování za polotepla a na kování za studena. Další z možných rozdělení je rozdělení podle použitého kovacího stroje na kování na bucharech, kování na svislých klikových kovacích lisech, kování na vodorovných kovacích klikových lisech a na kování na vřetenových lisech.

Při výrobě výkovku se vychází z výkresové dokumentace. Na podkladě výkresu součásti je navržen výkres výkovku. Výkres výkovku musí být navržen s ohledem na jeho technologičnost dle platných norem. Technologičnost konstrukce výkovku se skládá z přídavek na obrábění, z mezních úchylek, z tolerancí rozměrů a z přídavek technologických. Přídávky na obrábění volíme na plochách, na kterých je předepsané mechanické obrábění. U mezních úchylek a tolerancí rozměrů se vždy vychází z obtížnosti kování v závislosti na tvarové složitosti výkovku. Přídávky technologické jsou přídávky, jimiž doplňujeme z hlediska technologie kování tvar výkovku na tvar vhodný pro kování.

Dále je potřeba vycházet z těchto vstupních údajů:

- Kovací postup
- Sériovost výroby
- Výchozí polotovar
- Kovací soubor

O kovacím postupu rozhoduje technolog. Jestliže jde o sporné případy, tak by se měl technolog domluvit na správném postupu s konstruktérem tvářecího náradí. Na sériovosti výroby je výrazně závislá konstrukce tvářecího nástroje. Dále se u sériovosti bere ohled na hmotnost, rozměr a složitost výkovku. U výchozího polotovaru je potřeba nahlížet na jeho hmotnost, rozměry, jakost, tolerance a jakost povrchu. Kovací soubor by měl obsahovat zařízení pro ohřev na potřebnou kovací teplotu, předkovací a kovací zařízení, případný ostříhovací, kalibrovací a rovnací stroj. Podrobně jsou tyto kovací soubory zpracovány pro výkovky určité hmotnosti a jakosti kovaného materiálu.

1.1 Volné kování [9], [13], [17], [20]

Volné kování je používáno nejčastěji v kusové a malosériové výrobě nebo pro rozměrné výkovky, které nelze díky jejich velikosti kovat v zápustkách. Volné kování můžeme rozdělit na ruční volné kování a strojní volné kování.

Ruční volné kování má bohatou historii a již od počátků patřilo mezi nepostradatelné náradí kladivo, kleště a kovádlina. Ohřátý materiál je zpracováván za pomoci kovářského náradí a kováře do výsledného tvaru. Další používané nástroje při kování, které lze zmínit, jsou rohatiny, jenž je zvláštní druh kovádliny, babky, průbojnice, hřebovnice atd. Nejzákladnější kovářské nástroje u ručního volného kování jsou znázorněny na obr. 2.

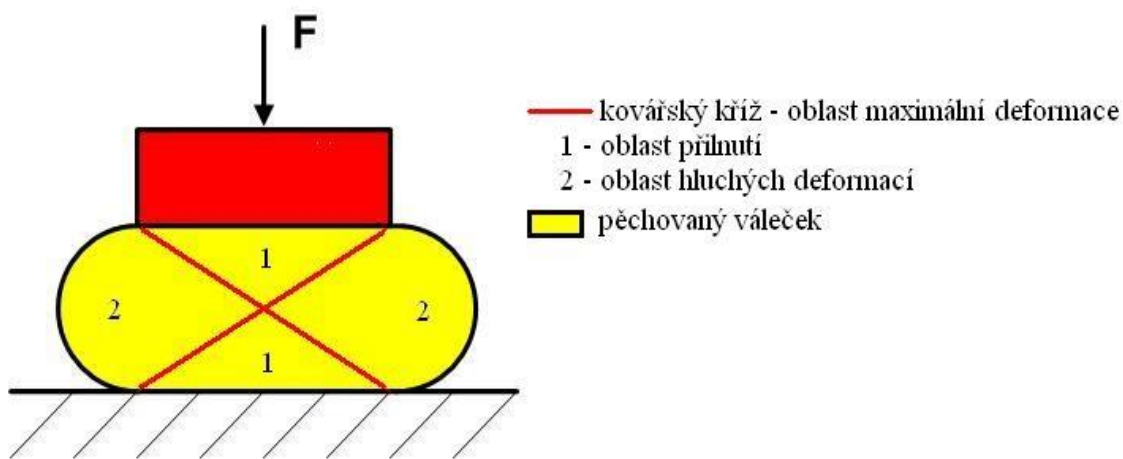
U volného strojního kování se používá bucharů a hydraulických lisů. Při úderu bucharu odpadají z materiálu okraje a povrch výkovku je tak dále zpracovatelný. Buchar prokovává materiál jen do určité hloubky, proto působí na materiál více rázy, aby bylo možno u materiálu dosáhnout vyššího stupně prokování. Lis na rozdíl od bucharu působí na materiál postupným tlakem a materiál je tak prokován v celém průřezu.



Obr. 2 Kovářské nástroje [9].

Mezi základní kovářské práce při volném kování, které vynikají svými specifickými vlastnostmi, patří pěchování, prodlužování, děrování, osazování, ohýbání a dělení. Při pěchování dochází k plastické deformaci mezi dvěma plochými nebo tvarovými čelistmi a patří k jedné ze silově a energeticky nejnáročnějších operací. U pěchování je také potřeba dbát na to, aby zpracovávaný materiál byl rovnoměrně nahřán. Další jmenovaná operace je prodlužování. Tato operace je nejčastěji používána u volného kování a jedná se o provedení více pěchovacích operací vedle sebe, čímž dochází ke zmenšení plochy příčného průřezu a díky tomu je materiál prodlužován. U děrování je kuželový trn mírně vtlačen do poloviny výšky výkovku, výkovek je poté otočen a z druhé strany se opět za pomoci trnu vyrobí díra.

U volného kování je potřeba otáčení výkovku, abychom se vyvarovali tzv. kovářskému kříži, který způsobuje rozdílné stupně prokování u výkovku. Dále pak může způsobit soudečkovitost výkovku a u delších těles vyboulení. Kovářský kříž je znázorněn na obr. 3.



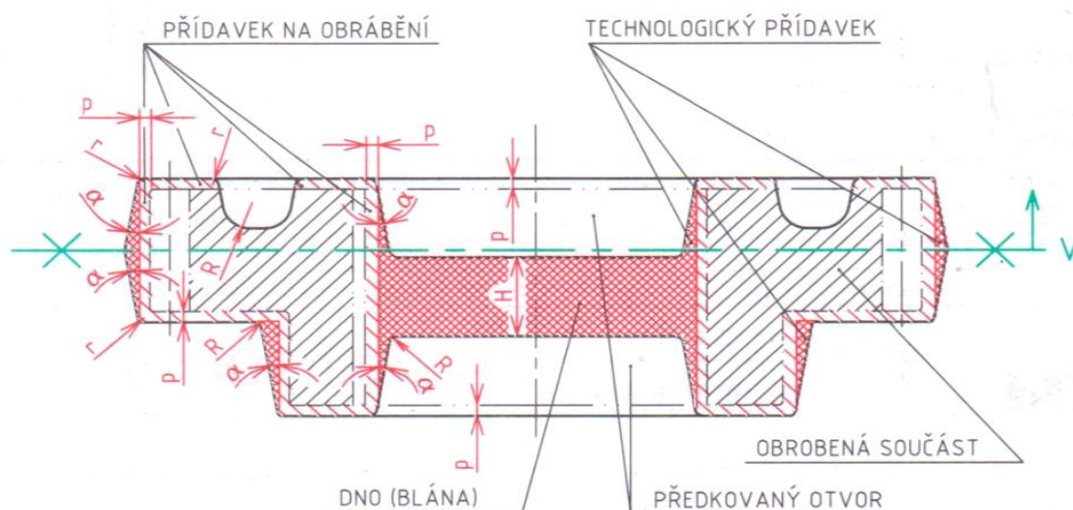
Obr. 3 Kovářský kříž [13].

1.2 Zápustkové kování [13], [16], [17], [18], [23]

Zápustkové kování se na rozdíl od volného kování používá většinou v sériové nebo hromadné výrobě. Podle přesnosti výkovku a charakteru nástroje dělíme zápustkové kování na kování výronkové, které probíhá v otevřené dutině a na kování bezvýronkové, jenž je kování v uzavřené dutině. Výchozí polotovár je vložen mezi horní a dolní zápustku. Poté je tvářen za pomoci hydraulického lisu nebo bucharu.

U zápustkového kování se dosahuje vyšší přesnosti výrobku než u volného kování a následným kalibrováním lze zlepšit přesnost a jakost povrchu až na úroveň, u které už dále nemusí být použito jakéhokoliv obrábění. Kovaný materiál je do dutiny zápustky vtlačován nebo lépe pěchován.

Při návrhu zápustky je nutno dbát na smrštění výkovku po jeho zchladnutí a na další konstrukční vlivy. Příklad náčrtu výkresu součásti s vyznačením požadavků pro výkres výkovku je zobrazen na obr. 4. Zvolená dělicí rovina je na obr. 4 vyznačena zelenou barvou.



Obr. 4 Náčrt výkresu součásti pro výkres výkovku [23].

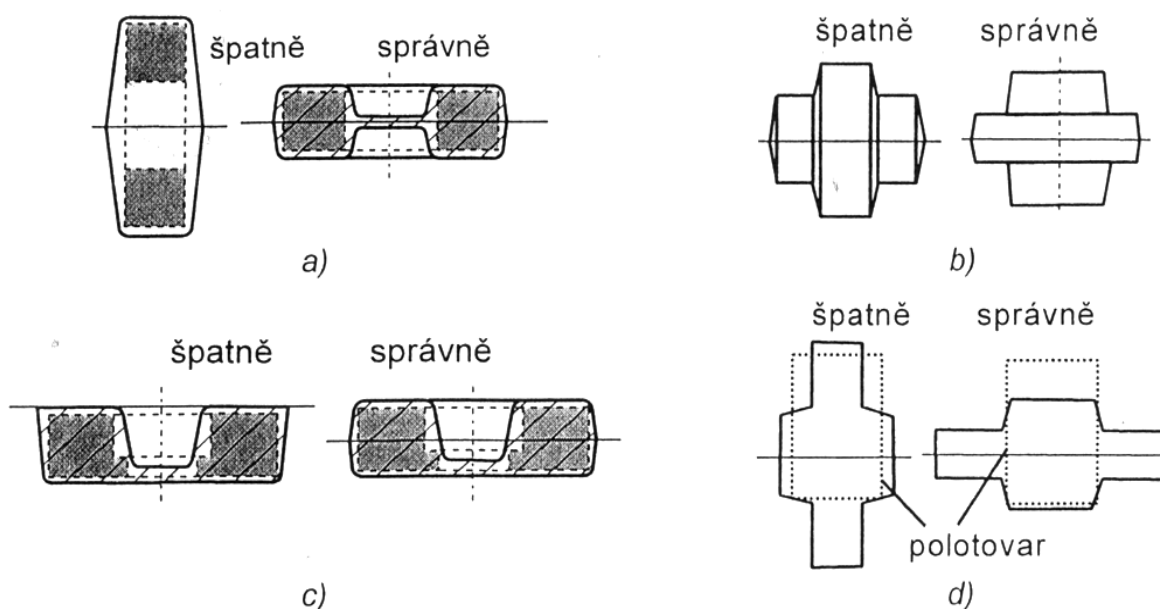
Technologické přídatky pro zápustkové kování jsou zejména úkosity, zaoblení hran, blány a zesílení tenkých stěn a žebër. Úkosů je zapotřebí na plochách výkovku, které jsou kolmé k dělicí ploše a to především pro snadné vyjmutí výkovku z formy. Běžně se u zápustkového kování zhotovují úkosity u vnějších ploch s úhlem 3° a u vnitřních ploch s úhlem 7° . Podle typu stroje můžeme volit i úkosity s jinými úhly úkosů. Na zaoblení hran a přechodů je potřeba dbát zejména u zatékání kovů, aby tvářený materiál vše potřebné bez problémů vyplnil, což by u ostrých hran nebylo možné. Volené vnější rádiusy jsou jako u úkosů voleny přibližně 2,5 krát menší než rádiusy vnitřní. Blány jsou přepážky, které zůstávají v otvoru výkovku při jeho předkování. Zesílení tenkých stěn a žebër je potřeba zejména proto, aby materiál co nejlépe zatekal do úzkých štěrbin. Zvolení tenkých žebër znesnadňuje kování, snižuje životnost nástrojů a zvyšuje potřebnou energii.

V případě výroby stejného výkovku na bucharu a na klikovém kovací lisu je zpravidla rozdílný kovací postup. Při návrhu typu a rozměru předkovacích dutin se musí vycházet z již zavedených postupů a dále z platných předpisů a směrnic.

Při zápustkovém kování je u kovacích lisů většinou maximálně používáno tři dutin v samostatných zápustkových vložkách, u bucharů je používáno zpravidla jedné dutiny. Jestliže se předkovává na samostatném stroji, může být použito i více jak tři dutiny. S rostoucím počtem dutin, klesá opotřebování zápustek a sníží se i spotřeba vsázkového materiálu. U kusové výroby se kove v jednodutinové zápustce bez předkovací dutiny. Pořizovací náklady jednodutinové zápustky jsou sice nižší, ale vsázková hmotnost materiálu je větší a chybějící předkování je nahrazeno několikanásobným kování v jedné dutině.

Pro zápustkové kování je u výchozího polotovaru nahlíženo na to, zda se kove za použití úchytky nebo bez ní a zda se z výchozího polotovaru kove jeden nebo více kusů. Hmotnost polotovaru je ovlivněna tokem materiálu v předkovací a dokončovací dutině. Velikost polotovaru může být omezena menším množstvím dodávaného materiálu a lze ji při zkoušení nástroje měnit.

Konstrukce výkovku vychází z tvaru obrobku, kde je nutno správně zvolit dělicí plochu. Dělicí plocha rozděluje výkovek na část kovanou v horní a dolní zápustce a měla by především zajistit snadné vyjmutí výkovku ze zápustkové dutiny. Pro správné navržení polohy dělicí plochy je třeba se řídit určitými pravidly. Jedním z nich je, pokud to konstrukce dovoluje, navrhnout rovinnou dělicí plochu. Za prvé je to výrobně jednodušší a také tím snížíme výšku zápustkových bloků. Dále by měl být výkovek symetrický, aby byla menší spotřeba materiálu. Zvýší se tím i kvalita stříhu. Často je potřeba z důvodu toku materiálu místo rovinné dělicí plochy volit dělicí plochu lomenou. Další zásada při volbě dělicí plochy je volit tuto plochu tak, aby odpor proti zatékání kovu do dutiny nástroje byl co nejmenší a aby se dutina vyplňovala pěchováním a ne protlačováním. Správná a špatná volba dělicí roviny je zobrazena na obr. 5.



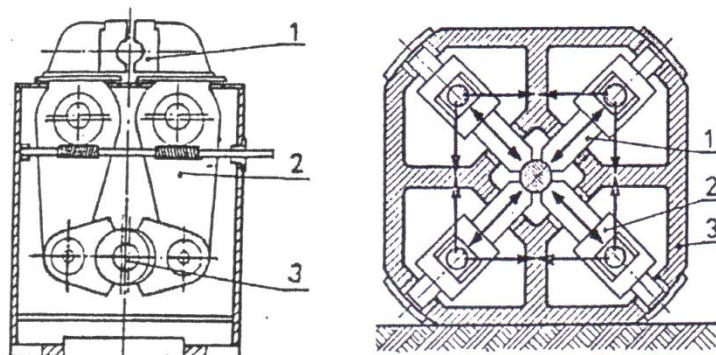
Obr. 5 Volba dělicí roviny [16].

1.3 Rotační kování [5], [13], [16]

U rotačního kování dochází ke zmenšování průměru polotovaru a tím dochází i k jeho prodloužení. Toho je docíleno za pomoci tvarových čelistí, tzv. kovátek. Lze tak vyrábět plné nebo duté osazené rotační výkovky. Kovátka působí na polotovar v kolmém směru na jeho osu a tím je redukován průřez polotovaru. Pohyb kovátek je synchronizovaný a jejich počet je volen podle typu stroje. U menších výkovků lze kovat za studena, ale objemnější výkovky jsou kovány za tepla.

U rotačního kování probíhá současně hned několik činností. Mezi tyto činnosti patří rotační pohyb tvářeného materiálu, posuv tvářeného materiálu mezi kovátky, kmitavý pohyb kovátek a rozevírání nebo svírání kovátek při změně průměru tvářeného materiálu.

Nejčastěji se používá dvou principů strojů, které se liší mechanismem přenosu kmitavého pohybu na kovátky. Jednou z variant rotačního stroje je fy Wacker, kde bývá používáno dvou kovátek. Činnost tohoto typu stroje je umožněna za pomoci otáčejícího se výstředníkového hřídele přes dvouramenné páky. Další typ stroje, kde se používají kovátky čtyři, je nazýván GFM. U některých typů rotačních strojů může být použito i kovátek šest. U typu GFM je pohyb kovátek umožněn samostatným klikovým mechanismem, který je uložen v rámu stroje. Tyto dva principy jsou znázorněny na obr. 6.



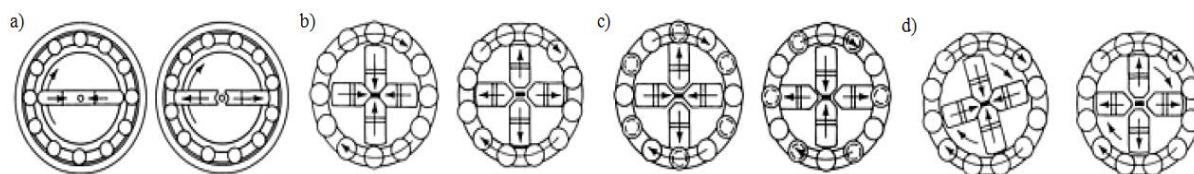
fy Wacker

GFM

1 - Kovátka, 2 - dvouramenné páky, 3 - výstředníková hřídel

Obr. 6 Princip činnosti strojů pro rotační kování [16].

Základní rozdělení podle pohybu kovátek je následně zobrazeno na obr. 7.



Uzavřená poloha Otevřená poloha

a) dvě kovátky, b) stacionárně čtyři kovátky, c) alternativní čtyři kovátky, d) čtyři kovátky s rotací

Obr. 7 Princip pohybu kovátek [5].

Mezi výhody rotačního kování patří možnost velké deformace průřezu tvářeného materiálu, vysoká přesnost a možnost zhotovit tvarově členité tvary otvorů u dutých výkovků. Nevýhodou u tohoto typu kování je nerovnoměrnost deformace, která při překročení kritické velikosti deformace může vést ke vzniku trhlin u tvářeného materiálu.

2 STROJE PRO KOVÁNÍ [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19], [22]

Jak již bylo zmíněno, mezi kovací stroje patří buchary nebo lisy. Typy kovacích lisů jsou svislý klikový kovací lis, vodorovný kovací lis a vřetenový kovací lis. Buchary působí na tvářený materiál rázy, přičemž dopadová rychlost beranu bucharu je přibližně okolo 10 m/s. Kovací lisy na rozdíl od bucharů provádějí příslušné kovací operace na jeden pracovní zdvih. Pracovní rychlost klikových lisů je přibližně desetkrát menší než u bucharů. Oproti bucharům je tedy polotovar tvářen tlakem a tím je i delší doba styku horní poloviny zápustky s tvářeným kovem. Tím vzniká v tvářeném materiálu rovnoměrnější deformace a jak horní, tak spodní polovina zápustky je plynuleji vyplňována. Výjimkou u kovacích lisů jsou lisy vřetenové, které patří svým charakterem kování do skupiny kovacích strojů jako buchary, protože stejně jako buchary využívají rázů. Jejich dopadová rychlost se blíží rychlosti klikových lisů a její velikost se pohybuje od 0,2 až do 1 m/s.

Před samotným kováním může být využito předkovací dutiny a potom dutiny dokončovací. Předkovací dutina by měla sloužit k tomu, aby byl dosažen přibližný potřebný tvar výkovku, a aby následující zakládání do dokončovací dutiny bylo jednoznačné. Předkovek by tedy měl být vyšší než budoucí výkovek a také užší. Z důvodu zvětšení životnosti dokončovací dutiny by se měl tvar předkovací dutiny co nejvíce podobat tvaru výkovku. Pro běžné výkovky nejsou u předkovací dutiny umístěny výronkové drážky, ovšem je-li třeba, lze jich využít. Při konstrukci dokončovací dutiny vzhledem k výkovku je třeba dbát na smrštění výkovku.

Výchozí polotovar je u menších výkovků volen z tyčových polotovarů nebo z válcovaných předvalků, kde je možnost kovat dva a více kusů, které jsou spojeny výronkem. U větších výkovků se kove z jednotlivých polotovarů. Velikost výchozího polotovaru se určuje z objemu materiálu pomocí vztahu (1)

$$V_{pol} = V_v + V_{výr} + V_o \quad (1)$$

kde: V_{pol} [mm³] - objem polotovaru,

V_v [mm³] - objem výkovku,

$V_{výr}$ [mm³] - objem materiálu spotřebovaného na výronek,

V_o [mm³] - objem znehodnoceného materiálu při ohřevu polotovaru,

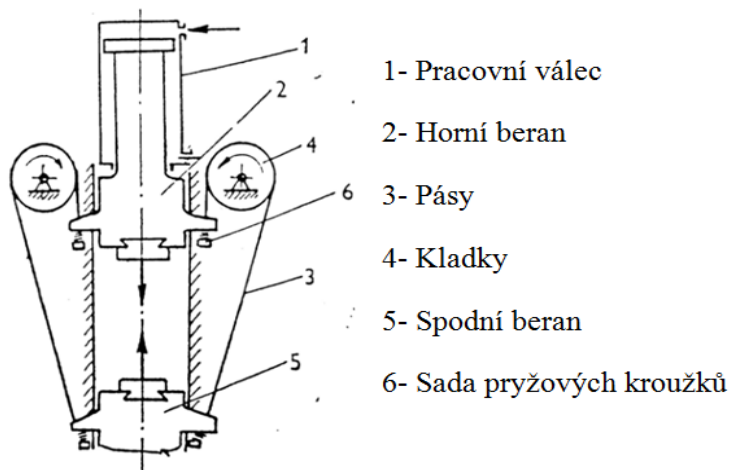
Tento výpočet slouží především pro polotovary jednoduchých tvarů, hlavně u tvarů rotačních. U složitějších tvarů je potřeba užití jiných metod, např. na podlouhlé tvary se objem výkovku nejlépe stanoví s pomocí průřezového obrazce.

2.1 Kování na bucharech [13], [16], [17], [18], [22]

Kování na bucharech je vhodné pro výrobu drobných výkovků nebo pro výrobu značně objemových výkovků, kde se používá bucharů protiběžných. Toto kování je vhodné pro výkovky se žebry, s výstupky, pro výkovky se značnými změnami v průřezu a pro výkovky se slabostěnnými částmi, kde je potřeba velké kovací síly.

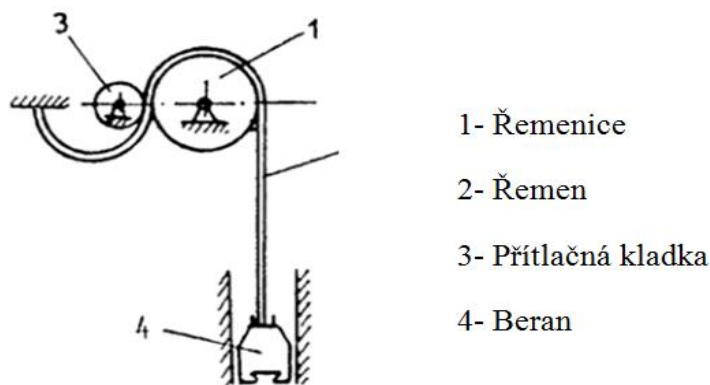
U zápusťkového kování je používáno již zmíněných protiběžných bucharů a bucharů padacích. Materiál zaplňuje dutinu formy postupně v několika úderech.

Princip protiběžných bucharů spočívá v pohybu dvou stejně těžkých beranů proti sobě. To zaručuje vysoké tvářecí rychlosti a vysoké tvářecí energie, které zaručují vysokou přesnost u velkých a komplexních kovaných dílů. Schéma jednoho z typů protiběžného bucharu je znázorněno na obr. 8.



Obr. 8 Schéma protiběžného bucharu [22].

U padacích bucharů je beran zvednut do určité výšky, poté je uvolněn a padá vlastní tíhou na tvářený materiál. Padací buchary bývají řemenové, deskové a řetězové. Schéma řemenového padacího bucharu je zobrazeno na obr. 9.



Obr. 9 Schéma řemenové padací bucharu [22].

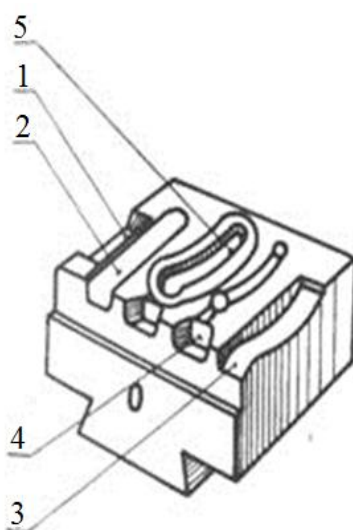
Konstrukce zápusťek pro buchary jsou navrhovány podle typu zvoleného bucharu, podle výkresu výkovku a podle údajů o výchozím materiálu. Potom je třeba ověřit výpočtem deformační práce a navrženou velikost bucharu. Před výrobou je dále třeba stanovit tvar a rozměr výronkové drážky, rozměry přípravných dutin, rozměry a způsob vedení zápusťek, materiál a jeho případné tepelné zpracování, vložkování zápusťek, je-li potřeba a celkový počet operací.

Celý technologický postup kování na bucharech je složen z několika operací. Tyto operace jsou předkování, následné vlastní kování do konečného tvaru a nakonec dochází k ostřížení výronku. Mezi tyto operace můžeme zařadit i následné kalibrování nebo rovnání. Obvykle se na bucharech kove tak, dokud nedojde k dosednutí zápusťek na sebe.

Předkování je prováděno volným kováním nebo v přípravných dutinách. Je využíváno především u složitějších tvarů výkovků, jako je např. u rozvidlených výkovků, u výkovků s hlavní osou složitějších tvarů, u výkovků se stranovými výstupky nebo u výkovků, které mají podélně proměnný průřez.

Předkování volným kováním je používáno většinou pro objemnější výkovky nebo u jednodutinových zápustek pro jednoduché rotační výkovky. Volné kování může být také použito v případě, že budeme vyrábět menší počet výkovků, kde by nebylo ekonomicky vhodné použití postupových zápustek.

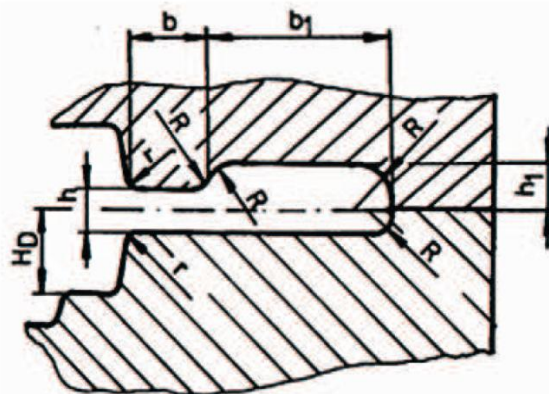
Předkování v přípravných dutinách je prováděno v postupových zápustkách, které jsou umístěny na přímo v zápustkovém bucharu. Polotovár je přenášen za pomoci kleští, nebo pomocí manipulátorů a robotů z jedné do dalších dutin a je-li to vyžadováno u výkovku, tak je výkovkem i otáčeno kolem podélné osy. Tyto dutiny mají jednoduché tvary bez výronkové drážky s velkými rádiusy a úkoly. Většinou bývají používány u malých výrobních sérií. Podle technologického použití lze přípravné dutiny rozdělit na dutiny tvarovací, ohýbací, prodlužovací, zužovací, otevřené rozdělovací, pro otáčivé kování a část oddělovací nebo také nazývána utínka. Příklad postupové zápustky je na obr. 10.



- 1- Dutina prodlužovací
- 2- Dutina rozdělovací
- 3- Dutina předkovací
- 4- Dutina kovací
- 5- Dokončovací dutina

Obr. 10 Postupová zápustka [13].

Kovací dutina je opatřena okolo obrysu tvaru výronkovou drážkou. Ta slouží k zachycení přebytečného materiálu a k regulaci tlaku v zápustce. Výronková drážka je tvořena z můstku, což je užší část, a ze zásobníku. Můstek slouží jako hlavní regulátor tlaku v dutině a jeho výška musí být volena tak, aby v dutině zápustky byl dostatečně velký tlak kovu a došlo tak k jejímu zaplnění. Do zásobníku přetéká přebytečný materiál z dutiny zápustky a je-li předpokládán větší výtok materiálu, je volen zásobník oboustranný. Nejpoužívanější tvar výronkové drážky pro buchar lze vidět na obr. 11.



Obr. 11 Uzavřená výronková drážka [17].

U jednoduchých zápustek střed dutiny leží ve středu zápustky. Tímto místem by měla procházet jak výslednice kovací síly, tak osa beranu bucharu. Nejvíce namáhané přípravné a předkovací dutiny se umísťují blíže ke středu zápustky a ty méně namáhané u okraje zápustky. Zápustkové dutiny by měly být umístěny co nejbližší u sebe, ale zároveň musí být zanechána dostatečná tloušťka stěny zápustky. Sled dutin by měl být totožný se sledem kovacích operací a je třeba brát na zřetel umístění ohřívací pece a ustřihovacího lisu vzhledem k bucharu.

Upínání horní části a dolní části zápustky je prováděno stejně a to pomocí kořene zápustky tzv. rybiny a upínací rybinovité drážky na šabotě nebo na beranu. Středění zápustek je ve svislém směru na rybinu zajištěno zatlučeným klínem a v podélném směru na rybinu je posunutí zajištěno pomocí pera, které je umístěno v ose zápustek nebo ve vybrání bočních stěn rybiny. Někdy je použito klínů z obou stran kořene zápustky.

U zápustek s lomenou dělicí rovinou bývá použito zámků, které zachycují posouvající se síly, jinak by mohlo dojít k přesazení výkovku. Dalším řešením je umístění dutin tak, aby se působící síly vzájemně eliminovaly. U kování jednoho kusu lze rovinu naklonit tak, aby její krajní body ležely v rovině, ale rovněž je potřeba bočních úkosů ve směru kování.

Pro podélné zápustky, aby nedošlo k jejich přesazení, bývá nejčastěji použito vodících kolíků. Většinou jsou voleny dva nebo čtyři kolíky, které zachycují tlaky působící na vedení beranu bucharu. Umístěny jsou zpravidla v rozích dolní zápustky tak, aby spojnice těchto kolíků ležela ve středu dutiny zápustky.

Tam, kde není použito ani středění ani vodících kolíků, se používá tzv. kontrolní roh. Kontrolní roh jsou dvě na sebe kolmé opracované plochy, které jsou umístěny na dvou bočních stěnách zápustky. U výkresu zápustky je brán jako bod nulový a tedy všechny další rozměry zápustky jsou kótovány od něj.

Při opravě opotřebovaných dutin nebo při případné výrobě nové zápustky se používají zápustkové vložky. Vložkování celého tvaru je používáno pro úsporu zápustkového materiálu, ale lze vložkovat i část tvaru zápustky. Toho je využíváno v místech nadměrného namáhání zápustek nebo opět pro úsporu zápustkového materiálu, který vystupuje nad dělicí plochu. Vložka je vyráběna z kvalitnějších materiálů než zápustkový blok, kde lze použít materiál levnějšího. Materiál vložky bývá většinou z jakostní zápustkové oceli a vlastní zápustkový blok bývá z oceli jí podřadnější.

2.2 Kování na svislých klikových lisech [11], [12], [16], [17], [18]

Při kování na svislých klikových lisech na sebe nesmí zápustky dosednout. U hlubokých dutin je doporučováno použít odvzdušňovací kanálky. Při opakovaném zdvihu již výkovek není tvářen a je přenesen do další zápustky, kde probíhá další operace jeho tváření. Operace tváření probíhá vždy v samostatné zápustce, takže v každé zápustce je jenom jedna dutina. Operace, jako rozdělování materiálu a prodlužování materiálu, nemohou být na svislých kovacích lisech prováděny pro jeho konstantní zdvih. Naopak operace, jako pýchování a vytlačování, jsou vhodné pro svislé kovací lisy. U klikových lisů může být umístění vyhazovačů ve stole lisu nebo v beranu. Díky tomu mohou mít výkovky menší boční úkosy. Na obr. 12 jsou znázorněny dva svislé kovací lisy.

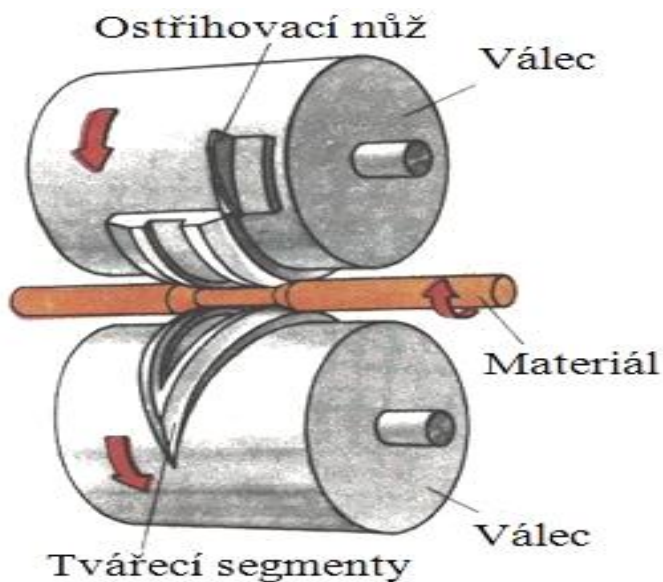


Obr. 12 Svislé kovací lisy [11].

Úkosity a přídavky na obrábění jsou voleny podle norem jiné než u bucharů. To platí i u tvaru výronkové drážky, kde je vzhledem k tečení materiálu potřeba tlustší výronková drážka.

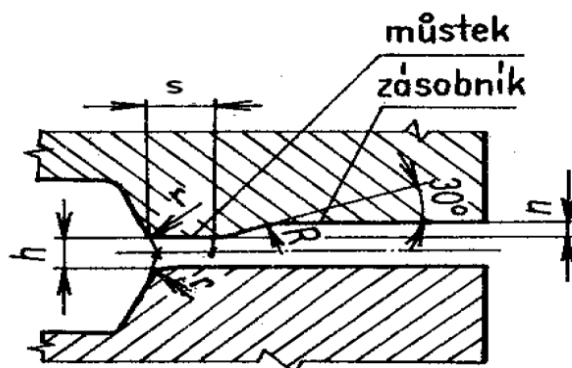
Při předkování se odstraní nekvalitní povrchová vrstva oprýskáním okují. Jestliže u výkovku není třeba předkování, doporučuje se pro odstranění okují umístit jako první operaci pýchování. Pokud není zvolena ani jako první operace pýchování, okuje jsou zakovány do povrchu výkovku a tím je jeho povrch méně kvalitní.

Nejvíce používaný způsob předkování je za pomoci příčného klínového válcování. Tímto způsobem lze mimo předkovků vyrábět vývalky nebo polotovary rotačních tvarů v konečné kvalitě. Princip příčného klínového válcování můžeme vidět na obr. 13.



Obr. 13 Příčné klínové válcování [12].

Výška můstku výronkové drážky je závislá na pružení lisu a na vzdálenosti mezi zápustkami při dolní úvratí. Zásobník je vybrán v bloku zápustky až k jejímu okraji. Nejčastěji používaný tvar výronkové drážky pro svislé kovací lisy je znázorněn na obr. 14.



Obr. 14 Otevřená výronková drážka [18].

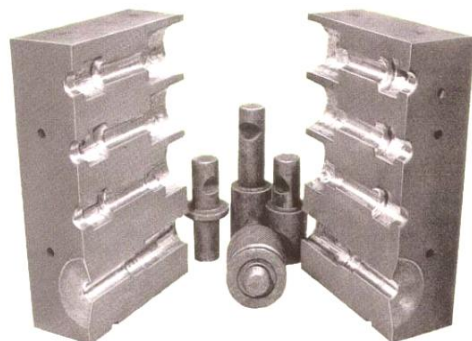
2.3 Kování na vodorovných kovacích lisech [13], [14], [15], [16], [17], [18]

Vodorovné kovací lisy jsou dvojčinné lisy, které jsou vhodné pro výrobu výkovků z tyčového materiálu. Kování na těchto strojích probíhá většinou v uzavřených zápustkách anebo v zápustkách s minimální výronkovou drážkou. Uzavřené zápustky nemají výronkovou drážku a je tedy dosaženo maximálního využití materiálu v zápustce, protože tvářený materiál nemá kudy odtéct. Na obr. 15 můžeme vidět vodorovný, či jinak nazývaný horizontální kovací lis.



Obr. 15 Vodorovný kovací lis [15].

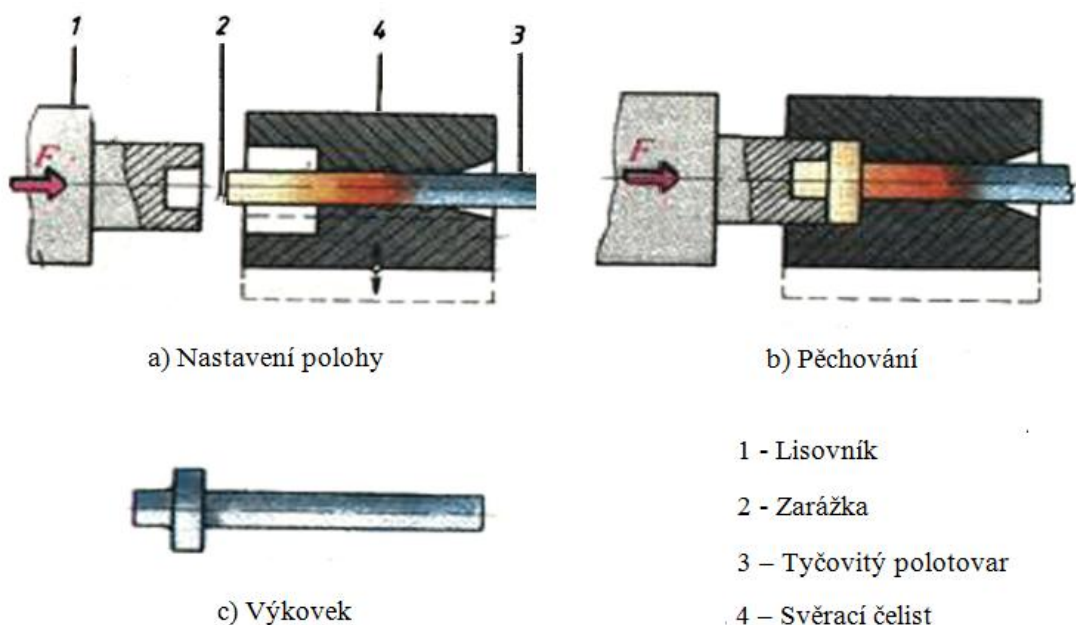
Podle roviny dělení zápustek se horizontální kovací lisy dělí na lisy se svislou rovinou dělení a na lisy s horizontální rovinou dělení. Svislé otevírání zápustky lze vidět na obr. 16. Lisy se svislou rovinou dělení zápustek mají označení LKH a lisy s horizontální rovinou dělení zápustek jsou značeny LKL. Lisy LKH jsou používány u kruhových tvarů výkovků a jsou charakteristické tím, že okuje vypadávají snadno ze zápustek. Naopak u lisů LKL je potřeba zajistit vyfukování okujů. U těchto lisů je poněkud snadnější upínání nástrojů a u složitějších tvarů výkovků se tváří postupně.



Obr. 16 Svislé otevírání zápustky [15].

Mezi výhody strojů LKH a LKL patří jejich dostatečný počet zdvihů a lze tak dosáhnout vysokých výkonů. Další výhodou je možnost vykovat složitější tvary výkovků, které by se velmi obtížně tvářely na jiných typech strojů. Výkovky můžeme vyrábět s malými úkosalými a lze jich při kování z tyče vyrobit více na jeden ohřev. Ostřihování výronku probíhá rovnou v ostřihovací zápustce na lisu. Je dosahováno i vyšší životnosti nástrojů než u použití bucharu. U pýchování je poměrně snadná výroba rotačních výkovků s předkovaným otvorem. Jednou z nevýhod u horizontálních lisů je, že se musí dbát na rozměrové tolerance výchozího materiálu, na svírání materiálu v čelistech a na zachování objemu materiálu. V případě, kdy nelze zajistit přesný objem materiálu, lze využít kování s malým výronkem.

Pýchování je nejčastěji používaná operace u horizontálních kovací lisů. Zápustka je uzavřená, třídlí a se dvěma dělicími rovinami. Dutinová část je dvoudílná a opatřená zdrsňeným průchodem pro tyčový materiál. Třetí pýchovací díl je do zápustky zasunut osově. Tyčovitý polotovár je posunut do kovací polohy po zarážku. Poté dvoudílná část polotovaru sevře a zarážka je odsunuta pryč. Vyčnívající konec tyče je ohříván nejčastěji indukčně. Po zpýchování ohřátého konce tyče je výkovek oddělen posuvným nožem od tyče a pracovní cyklus se může opakovat. Postup tohoto cyklu je zobrazen na obr. 17.

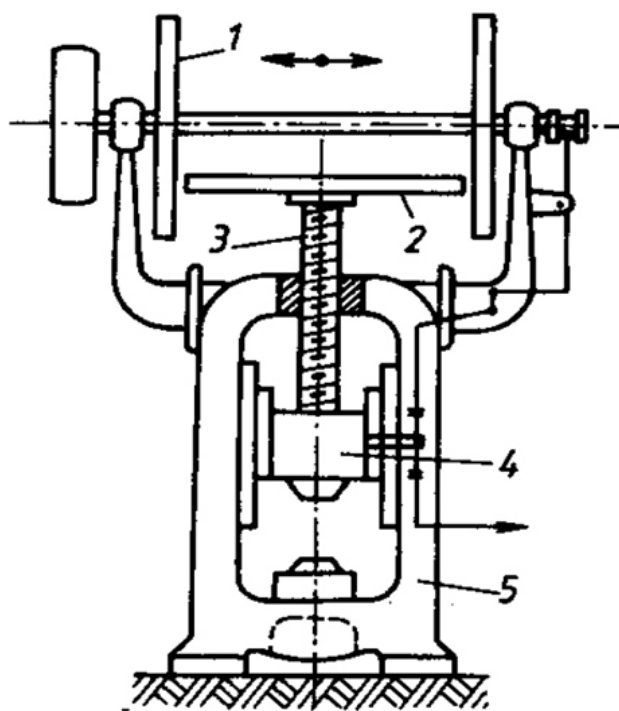


Obr. 17 Postup pýchování na horizontálních kovacích lisech [13].

Nástroje pro vodorovný kovací lis jsou složeny z pevného bloku, který je upnut na hlavním pýchovacím beranu lisu a pohyblivého bloku, který je upnut na svěracím beranu lisu. Svěrací části dutin jsou vyráběny hladké nebo s brzdícími drážkami a slouží k sevření polotovaru, aby nedocházelo k jeho posunu. Pýchovací část slouží k tomu, aby pýchování nezačalo dříve, než se lisovník zasune do zápustky. Děrovací část nástroje slouží k výrobě otvoru. Další část umístěná v blocích je ostřihovací část zápustky, kde se ostřihuje výronek vzniklý v poslední tvarové dutině. Poslední důležitá část je část oddělovací, která slouží k oddělení výkovku od polotovaru za pomoci odřezávacích nožů.

2.4 Kování na vřetenových kovacích lisech [16], [17], [18], [19]

Vřetenové kovací lisy jsou charakteristické především delším zdvihem a vedení beranu bývá poměrně málo tuhé. Vhodné jsou především v malosériové výrobě pro jednodušší tvary výkovků s menšími změnami průřezu v ose beranu. Schéma vřetenového lisu s jeho základními částmi je znázorněno na obr. 18.



- 1- Třecí kotouč
- 2- Setrvačnický
- 3- Vřeteno
- 4- Beran
- 5- Rám

Obr. 18 Schéma vřetenového lisu [19].

U zápustkového kování na vřetenových lisech je vyžadována vysoká náročnost a opatrnost. Proto se většinou kove v jednodutinových zápustkách na jeden úder. Je zde i možnost umístění přípravné zápustky, tím se však snižuje životnost zápustek a může dojít již ke zmiňovanému přetížení lisu. Nelze tedy umístit mezi kovací operace prodlužování nebo rozdělování. Tyto operace by vyžadovaly více úderů v jedné operaci, což na vřetenových lisech nelze uskutečnit. Pokud je u toho typu lisu použit vyhazovač výkovků, je umístěn ve spodní části zápustky a umožňuje tak zmenšení bočních úkosů v dutině zápustky.

Ú návrhu zápustek pro vřetenový lis se vychází, díky velice podobnému charakteru kování, v podstatě ze stejných zásad a norem jako u bucharů. Výjimkou jsou výkovky s větším stoupáním materiálu, protože malá dopadová rychlost zapříčiňuje menší stoupavost materiálu než je tomu u bucharů. Oproti bucharům lze však na vřetenových lisech výhodně kovat protlačováním.

Podle způsobu kování můžeme kování na vřetenových lisech rozdělit na kování v otevřených zápustkách, kování v uzavřených zápustkách, kování v uzavřených zápustkách s dělenou zápustkou a kování protlačováním.

Nejvíce rozšířený způsob kování v otevřených zápustkách je charakteristický tím, že výška výkovku je dána výškou dosednutí horní a dolní části zápustky jako u zápustek bucharu. Pro přebytečný materiál je zde zapotřebí výronkové drážky.

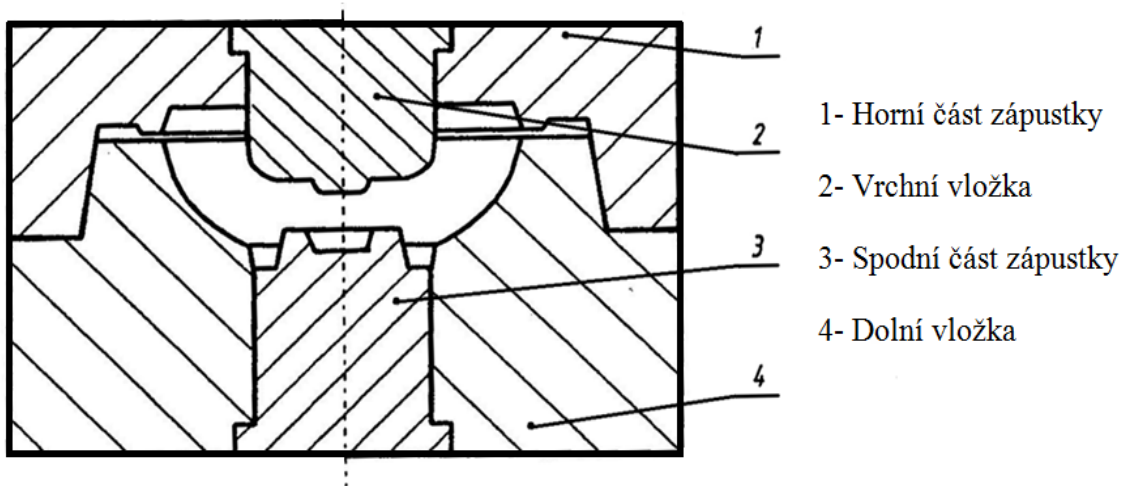
U kování v uzavřených zápustkách je předpokládáno přesné dělení výchozího materiálu. Případné nepřesnosti objemu výkovku, které se projeví v jeho výšce, by totiž mohly vést k přetížení lisu. Nejsou zde používány výronkové drážky.

Kování v uzavřených zápustkách a s dělenou zápustkou je především náročnější na konstrukci zápustek a na jejich celkové provedení. Je používáno převážně pro drobnější výkovky. Materiál polotovaru je většinou z neželezných kovů a slitin.

Dalším způsobem, kde jsou kladeny vysoké nároky na přesnost výchozí polotovaru, je kování protlačováním. Různé nepřesnosti by opět mohly vést k tomu, že by vytlačená část neměla požadovanou stejnou výšku a lis by mohl být přetížen. U tohoto způsobu je potřeba dávat pozor i na to, aby teplota výchozího materiálu byla na všech místech stejná.

Uchycení zápustek do vřetenových lisů je prováděno pomocí šroubů a přílohek. Spodní díl zápustky se upíná na stůl lisu, který je opatřen drážkami. Horní díl je upnut na beranu opět za pomoci drážek. U většiny vřetenových lisů je velká vůle ve vedení beranu, proto je vyžadováno vzájemné vedení horní a dolní části zápustky. To je zajištěno např. centrováním vedení nebo vodícími sloupky.

Typy používaných výronkových drážek jsou stejné jako u bucharů. Výjimkou jsou tvary výkovků, u kterých se nepoužívá zásobník a výronkovou drážku tvoří pouze můstek. U vřetenových lisů bývají zápustky často vložkovány. Výhodou je především to, že při opotřebení vložky ji můžeme samostatně vyměnit. Příklad vložkované zápustky je na obr. 19.



Obr. 19 Vložkovaná zápustka [16].

3 PŘESNÉ KOVÁNÍ [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [10], [16]

Přesné kování je kování v podmínkách zajišťujících dosažení přesného tvaru výkovku, který se tvarově a rozměrově blíží hotové součásti. Charakteristické pro tento způsob kování je zpravidla fakt, že zápustky jsou vyrobeny bez výronkových drážek, a proto je potřeba používat přesné polotovary s maximální objemovou úchylkou do 1%. Oproti konvenčnímu zápustkovému kování v otevřených zápustkách s výronkovou drážkou je tento způsob kování úspornější na materiál polotovaru, protože zde není potřeba volit přídavků na materiál, který vytéká výronkovou drážkou. Díky menšímu objemu polotovaru je zde zapotřebí i menší kovací síly. U přesného kování je možnost často snížit počet operací, ale musí být zvolen větší stupeň přetvoření. Typy výkovků, které lze přesným kováním vyrobit, jsou zobrazeny na obr. 20.



Obr. 20 Výkovky vyrobené přesným kováním [4], [7].

Výkovky zhotoveny přesným kováním jsou tvarově a rozměrově blízké hotové součásti. Mezi jedny z hlavních a základních požadavků, aby byl v uzavřené zápustce správně vyroben výkovek, patří přesné dodržení objemu vloženého polotovaru, čistota ploch na polotovaru po dělení materiálu a přesné a pečlivé založení polotovaru do zápustky, případné vystředění. Na rozdíl od kování v otevřených zápustkách je zde voleno menších technologických přídavků, menších přídavků na obrábění a vyšší tvarové a rozměrové přesnosti s malými úchylkami tvarů a rozměrů. Tím je menší spotřeba materiálu a mohou být odstraněny některé z dokončovacích operací u výkovku.

U přesného kování může přebytečný materiál v zápustce vést ke zvýšení potřebné kovací síly, tím může dojít k následnému poškození nástroje a kovacího zařízení. Proto mohou být zápustky opatřeny doplňující dutinou, která je nazývána zásobník nebo kompenzátor kovu. Dutina je umístěna v části, která je zaplňována jako poslední a klade zvýšený odpor toku materiálu. Tak dochází k tomu, že výkovky jsou jakostní a v tolerancích. Přebytečný materiál je vtlačen do kompenzátoru.

3.1 Technologické parametry [1], [10], [16]

K realizaci přesného kování je podmínkou vytvoření celé řady předpokladů, jejichž splnění rozhoduje s přihlédnutím na ekonomickou stránku o úspěšnosti této technologie. Mezi technologické parametry lze zařadit přesnost tvářecího nástroje, přesnost výchozího polotovaru, tvářecí teploty polotovaru a zápustek, tribologické podmínky a tvářecí zařízení.

Z vysokých nároků na přesnost výkovků plynou i vyšší nároky na přesnost tvářecího nástroje. Požadovaná přesnost tvářecího nástroje může teoreticky být až desetkrát vyšší než přesnost výkovku, a tak je zejména u menších výkovků kladeno vysokých nároků na přesnost výroby nástroje. Pro složitější tvary výkovků jsou nástroje složené z více dílů se vzájemným pohybem. Pohyb jednotlivých dílů umožňují pákové mechanismy, klínové mechanismy nebo pružiny. Při výrobě je u jednotlivých dílů nástroje vyžadována vysoká přesnost. Vysoká přesnost je u nástroje vyžadována i na jeho seřízení, nastavení a dimenzování jeho více částí. Nutno je také při návrhu vzít v úvahu tepelnou dilataci jak u výkovku, tak i u nástroje, přesnost a odpružení tvářecího stroje a změny rozměrů zápustek, které mohou být způsobeny v důsledku opotřebení.

Tvar výchozího polotovaru je nejčastěji plná válcová tyč. Další tvary jsou např. trubkový polotovar nebo kroužek. Objem výchozího polotovaru je u přesného kování požadován s maximální objemovou odchylkou $\pm 0,5$ až ± 1 %. Dále je u výchozího polotovaru třeba znát metodu a přesnost dělení. U dělení je důležitý tvar a hmotnost ústřížku z tyče a jakost střížné plochy. Tvar ústřížku udává jeho následné přetvoření a do určité míry i způsob zaplňování dutiny. Jakost střížné plochy je dána metodou dělení. Mezi nejpoužívanější metody dělení materiálu u přesného kování patří stříhání a řezání. Dělení stříháním je ekonomicky výhodnější, ale méně přesné jak druhá zmíněná metoda. Řezání je metoda dražší, zvyšuje se zde spotřeba materiálu, je časově náročnější, ale jakost střížné plochy je lepší. U metod přesného kování, kde je využíváno strukturní superplasticity materiálu, je potřeba připravit vhodnou strukturu polotovaru.

Teplota tváření u přesného kování má velký vliv na samotný proces kování. Ovlivňuje tvárnost kovů při změnách teplot a dále ovlivňuje i negativní vliv atmosféry na ohřátý materiál zejména u vyšších teplot. Teploty tváření jsou děleny do tří již zmíněných oblastí, které jsou kování za studena, za polohřevu neboli za polotepla a kování za tepla. Charakteristiky ocelových výkovků pro tyto tři oblasti jsou uvedeny v tab. 3.1.

Tab. 3.1 Charakteristiky ocelových výkovků [16].

	Za studena	Za polotepla		Za tepla
Teplota kování [°C]	okolí	200 ÷ 550	600 ÷ 950	1100 ÷ 1250
Kované tvary	Jednodušší	Téměř libovolné		Libovolné
Příprava polotovaru	Žíhání, fosfátování	Grafitový povlak nebo žádná příprava		Většinou žádná
Hmotnost [kg]	0,001 ÷ 50	0,1 ÷ 50		1 ÷ 1500
Jakost oceli	Nízkouhliková C < 0,4 % Ostatní prvky < 3%	Libovolný obsah C Obsah legūr < 10 %		Libovolné
Přesnost	IT7 ÷ IT11	IT9 ÷ IT12		IT12 ÷ IT16
Drsnost povrchu Rt[μm]	< 6	< 7	< 10	< 20
Životnost zápustek[ks výkovků]	20000 ÷ 50000	10000 ÷ 20000		5000 ÷ 10000
Využití materiálu[%]	85 ÷ 90	cca 85		60 ÷ 80

Tvářecí teplota a rychlost ohřevu polotovaru je dána jeho materiálem a způsobem ohřevu výchozího polotovaru. Ohřev polotovaru je požadován co nejrychlejší, setrvání na kovací teplotě je vyžadováno co nejkratší a rozptyl teploty by měl být co nejmenší. V některých případech je zapotřebí podle typu materiálu použít ochranných povlaků a ochranné atmosféry. Dále je nutnost věnovat vysokou pozornost výchozí teplotě polotovaru, kde je potřeba dbát na případné ztráty, které mohou vzniknout sáláním při přenosu výkovku nebo ztráty vedením, jestliže je použito předkovací dutiny. Proto je potřeba zvolit správnou teplotu na výstupu z ohřívacího zařízení a udržovat ji v předepsané toleranci.

Počáteční teplota zápuštěk a jejich změna teploty během tváření má vliv na rozměrovou a tvarovou přesnost výkovků a na velikost opotřebení zápuštěk. Je třeba správná volba počáteční teploty zápuštěk, která je závislá především na materiálu výkovku. Dále je třeba správné navrhnutí materiálu zápuštěk a případně i jejich tepelné zpracování. Deformační práce způsobuje nárůst teploty uvnitř výkovku a vnější část výkovku je ochlazována zápuštěkou. Po vyjmutí výkovku a jeho následném ochlazení na pokojovou teplotu, tak může dojít k nerovnoměrnému smrštění výkovku.

Tribologickými podmínkami můžeme rozumět správnou volbu maziva. Maziva jsou přidávána pro zlepšení podmínek u tvářecího procesu kování. Slouží ke snížení tření mezi nástrojem a tvářeným polotovarem, což usnadňuje zaplňování zápuštěk, tím se zmenší místní tlak a zároveň se zvýší životnost zápuštěk. Dále maziva usnadňují vyhazování výkovků a zajišťují rovnoměrnou teplotu zápuštěk během kování. Pro přesné kování je zapotřebí automatického nanášení maziva, aby se mazivo nanášelo rovnoměrně se stejnou intenzitou během kovací dávky.

Při kování za studena se volí maziva tak, aby byl podpořen plastický tok kovu a zamezilo se ulpívání kovu na nástroji. Zde jsou vhodné především ropné oleje. Při kování za nízkých teplot jsou používány nosné vrstvy maziva, které jsou chemicky vázána ke tvářenému materiálu. Zde se nejběžněji používá fosfátová vrstva, která vzniká na povrchu mořeného materiálu. U kování za vysokých teplot se jako mazivo většinou používá grafit s vhodnou olejovou suspenzí.

Jako tvářecí zařízení pro přesné kování lze užít strojů pro konveční objemové tváření. To platí zejména pro mechanické klikové a hydraulické lisy. Nelze vždy použít stroje pro konveční objemové tváření a je zapotřebí úpravy kovacího stroje nebo jiné speciální konstrukce.

3.2 Metody přesného kování [1], [2], [3], [5], [6], [10], [16]

Metody přesného kování jsou technologie, které nám umožňují vyrábět výkovky konečného tvaru, které jsou svými tvary shodné nebo velice podobné požadovanému konečnému tvaru součásti. Tyto technologie lze rozdělit do tří oblastí:

- Technologie izotermického kování
- Kování přesných výkovků v uzavřeném nástroji
- Kování přesných výkovků s horní kyvnou zápuštěkou

3.2.1 Technologie izotermického kování [3], [10], [16]

Izotermické kování lze zařadit mezi superplastické tváření, jelikož často využívá superplastického chování materiálu. U této technologie je požadována vysoká přesnost tvaru výkovku, která by se měla blížit tvaru hotové součásti. Izotermické kování je vhodné zejména pro velké a středně velké výkovky.

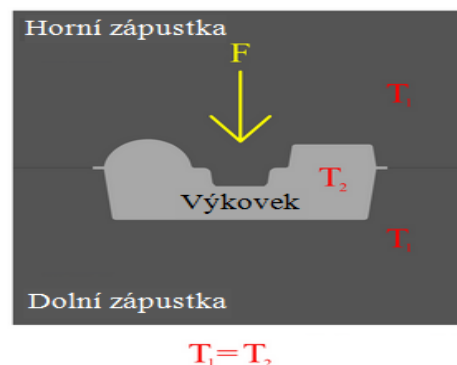
Hlavní snahou u izotermického kování je zajistit konstantní teplotu tvářeného materiálu. Izotermickým kovááním se tedy rozumí, že tvářecí nástroj ohřejeme na kovací teplotu. Tím se vytvoří stabilní teplotní podmínky, které nám umožňují snížit deformační rychlosti. Základní princip izotermického kování je znázorněn na obr. 21.

Mezi výhody izotermického kování lze zařadit podstatné snížení tvářecích tlaků. Toho je dosaženo díky optimálním tvářecím teplotám deformovaného materiálu, které nám zajišťují minimální hodnoty tření a deformační rychlosti. U izotermického kování je tak hodnota potřebné tvářecí síly většinou 10 až 30 % velikosti tvářecí síly u běžného tváření. Další výhodou je zvýšení plastických vlastností kovaného materiálu. To umožňuje zvýšení přesnosti výkovku a zároveň lze snížit počet tvářecích operací. Tím je tvar a rozměr výkovku velmi blízký finální podobě součásti.

Pro tváření v izotermických podmínkách jsou kladeny určité požadavky na ohřev, konstrukci a funkčnost nástroje, na konstrukci a funkčnost tvářecího stroje a na tribologii procesu.

Ohřev pracovního nástroje musí být konstrukcí ohřívacího zařízení zajištěn na vysoké teploty. Na těchto teplotách by měl ohřátý nástroj setrávat po celou dobu deformace. Jako ohřev pracovního nástroje se používá elektrický odporový ohřev nebo elektrický indukční ohřev. Elektrický odporový ohřev je dále dělen na ohřev s přímým průchodem proudu, kde je elektrický proud zaveden do ohřívaného materiálu, čímž vzniká teplo a na nepřímý ohřev, kde jsou průchodem elektrického proudu ohřívány topné články, které sáláním tepla ohřívají materiál nástroje. U elektrického indukčního ohřevu vzniká teplo v ohřívaném nástroji vlivem vířivých proudů, které jsou indukovány do nástroje střídavým magnetickým polem. Ohřívací zařízení spolu s držákem nástrojů a izolačními prvky tvoří dohromady tzv. kovací blok.

Tvářecí nástroj pro izotermické kování se od běžných kovacích nástrojů liší v mnoha ohledech. To je způsobeno jinými pracovními podmínkami, které u kování vznikají. Mezi tyto podmínky lze zařadit vysokou pracovní teplotu, malé rychlosti deformace a dlouhé prodlevy při zatížení. Zatížení je však u tohoto typu kování statické a malé. Jedno z nejzákladnějších volení materiálu nástroje je podle poměru meze kluzu materiálu nástroje k mezi kluzu tvářeného materiálu. Často volené materiály pro tvářecí nástroj jsou žárovebné materiály na bázi niklu a molybdenu, keramické a kovokeramické materiály.



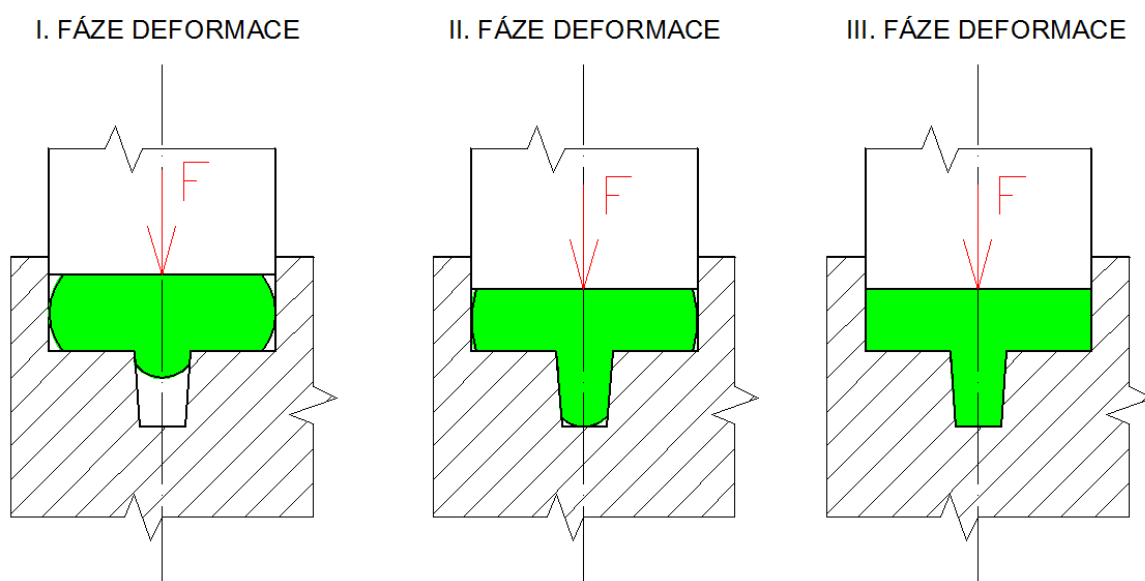
Obr. 21 Izotermické kování [3].

Pro izotermické kování se jako tvářecí stroje používají speciální hydraulické lis. Jejich konstrukce musí splňovat určité podmínky. Mezi tyto podmínky lze zařadit programovatelné řízení rychlosti pracovního zdvihu, umístění vyhazovacích mechanismů pro vyhazovače v horní i dolní zápustce, umístění přestavitelných dorazů pro přesné nastavení pracovního chodu a umístění mechanismu pro zastavení beranu lisu v jakékoliv potřebné poloze. U speciálních hydraulických lisů by upínací desky stolu a beranu měly být vybaveny kanálky, které slouží pro průchod chladicí kapaliny.

Pro izotermické podmínky má tribologie procesu vysoký význam, protože jsou sníženy vnitřní odpory v materiálu, a tak roste kontaktní tření při tečení kovu v nástroji. Proto zde nejsou používána maziva jako u klasického zápustkového kování, ale využívají se tzv. skelná maziva. Ty jsou nanášeny na výchozí polotovary jako suspenze před ohřevem. Pro vznik suspenze s vhodnými vlastnostmi jsou přidávány další látky jako soda, borax, atd. Skelné mazivo mimo mazání může plnit i další úlohu a to, že slouží jako ochranná vrstva před reakcí kovu s okolím.

3.2.2 Kování přesných výkovků v uzavřeném nástroji [1], [2], [10], [16]

U kování přesných výkovků v uzavřeném nástroji v oblasti deformace, kde dochází k vytlačování kovu z tenkého těla výkovku do žeber a přepážek, je rozložení napětí závislé na poměru výšky těla výkovku k průměru těla výkovku. Na tomto poměru je závislá i velikost kontaktního tření. Kování výstupků na výkovech s uzavřeným nástrojem lze rozdělit do tří deformačních fází. V první fázi deformace je nástroj otevřený a výchozí polotovar je volně přechován. Zde již dochází k vytlačování materiálu do výstupku a první fáze končí v okamžiku dotyku bočních stěn přechovaného materiálu se stěnami dutiny nástroje. U druhé fáze deformace dochází k vytlačování materiálu z uzavřeného nástroje a tato fáze končí v okamžiku, kdy dojde k dotyku čela vytlačovaného materiálu se dnem výstupku. Ve třetí a poslední fázi deformace dochází k zaplnění rohů dutin nástroje. Zjednodušené schéma těchto tří fází deformace při kování výstupků je na obr. 22.



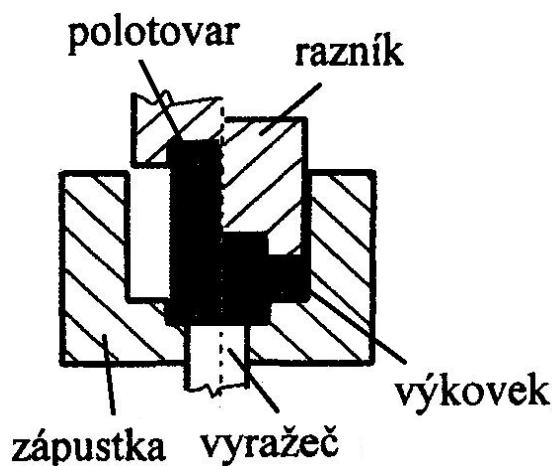
Obr. 22 Fáze deformace při kování výstupků v uzavřené zápustce [16].

Konstrukci uzavřeného nástroje lze rozdělit na tři části:

- a) Kování v uzavřené zápustce
- b) Kování v uzavřené dělené zápustce se selektivními pohyby jednotlivých částí
- c) Kování velkých a tvarově členitých přesných výkovků

a) Kování v uzavřené zápustce

Kování v uzavřené zápustce je používáno převážně pro zhotovování jednodušších přesných výkovků, kterými lze rozumět převážně rotační tvary za kovacích teplot. Je zde zapotřebí určitého minimálního přebytku pro dokování tvaru výkovku. U tohoto typu kování vzniká ve fázi, kdy je zápustka téměř nebo zcela zaplněná, velká kovací síla, která rychle roste. Tím může dojít i při menším zvětšení objemu polotovaru k destrukci nástroje a dále k možnému přetížení stroje. V uzavřené zápustce se mohou vyrábět výkovky s válcovou anebo kuželovou boční plochou. Čelo razníku by u kování v uzavřené zápustce mělo kolmě směřovat k vertikální ose výkovku. Schéma pro kování v uzavřené zápustce s vyražečem je zobrazeno na obr. 22.

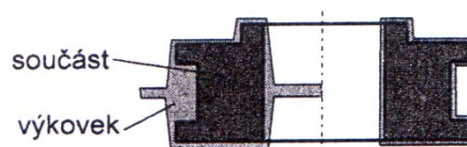


Obr. 23 Kování v uzavřené zápustce [1].

K usměrnění rostoucí kovací síly při zaplňování zápustky se používají již zmíněné kompenzátory kovu. Dalším způsobem je umožnění relativního posunu některé z částí nástroje odpružením. Umístění kompenzátorů je na místech, kde přebytek kovu lze jednoduše mechanicky odstranit. V případě použití kovací blány, mohou být kompenzátory umístěny do blány. To je nazýváno jako tzv. kování s vnitřním výkovkem.

Jestliže nelze použít kompenzátory z důvodu snížení pevnosti nástroje nebo z důvodu nepřijatelného přírůstku na výkovku, využívá se nástroje s protitlakem. Při tomto způsobu je třeba počítat se zvýšením celkových tvářecích tlaků a s namáháním nástroje. V některých případech to může vyžadovat předkování tvaru v předkovacích dutinách, čímž se rozdělí celková deformace do více částí. Potřebný protitlak v nástroji je zajištěn plynovými a talířovými pružinami, vícečinnými lisami a hydraulickými válci.

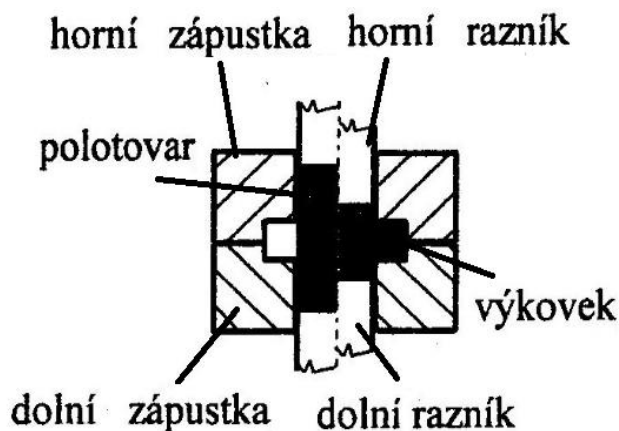
Při kování v uzavřené zápustce jsou tvarové boční plochy výkovků tvořeny za pomoci vodorovných kovacích strojů. Ty umožňují kování výkovků tvaru kroužku či disku bez výronku a zároveň i bez blány v otvoru. Rozdíl mezi použitím svislého kovacího stroje v levé části a horizontálního kovacího stroje v pravé části je zobrazen na obr. 24.



Obr. 24 Kování na svislém a horizontálním kovacím stroji [16].

b) Kování v uzavřené dělené zápustce se selektivními pohyby jednotlivých částí

Kování v uzavřené dělené zápustce se selektivními pohyby je metoda, která se využívá převážně v automobilovém průmyslu. Tato metoda je vhodná především pro výrobu ve velkých sériích. Kování v uzavřené dělené zápustce rozděljuje tok tvářeného materiálu v dutině zápustky, což nám umožňuje snížit tlaky v zápustce. Díky nižším tlakům v zápustce lze kovat tvarově složitější výkovky. Mezi často vyráběné výkovky lze tak zařadit ozubená kola, vačkové hřídele nebo ojnice. K rozdělení toku materiálu je zapotřebí děleného nástroje, který má definovaný pohyb jeho jednotlivých částí. Schéma pro kování v uzavřené dělené zápustce se selektivními pohyby jednotlivých částí je na obr. 25.



Obr. 25 Kování v uzavřené dělené zápustce se selektivními pohyby jednotlivých částí [1].

Činnost nástrojů poskytujících selektivní pohyb zápustek, které obsahují razníky, závisí na správném zvolení rychlostí, tlaků a případných směrů pohybu částí nástroje. K pohybu dílčích částí nástroje se využívá mechanismů vícečinného lisu. Dále je k pohybu dílčích částí nástroje využíváno plynových, talířových a elastomerových pružin a některé nástroje mohou využívat i pákové a klínové mechanismy. Jestliže je potřebné pro tvar výkovku zajistit nesymetrické tečení kovu v nástroji, používá se tzv. pantografický mechanismus. Pantografický mechanismus zajišťuje převod rychlosti mezi horní a dolní částí zápustky, aby došlo k nesymetrickému tečení kovu.

c) Kování velkých a tvarově členitých přesných výkovků

Pro kování velkých a tvarově členitých přesných výkovků jsou používány materiály slitin barevných kovů. Převážně jsou využívány hliníkové a hořčíkové slitiny. Tyto slitiny jsou často používány v automobilovém průmyslu. Důkazem je na obr. 26 výkovek disku kola z hořčíkové slitiny. Výhodou těchto slitin je dobrá tvařitelnost, a tak lze kovat tvarově složitější výkovky. Tvary výkovků jsou charakteristické vysokými a tenkými žebry a většinou můžeme mluvit o rozměrnějších součástech.

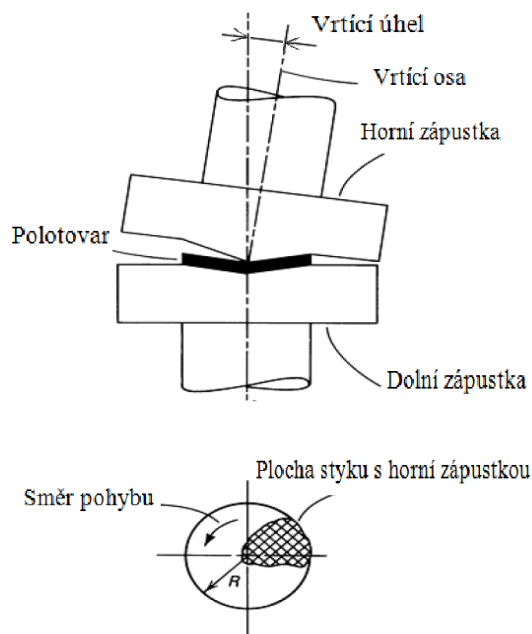


Obr. 26 Výkovek disku kola z Mg slitiny[2].

Pro výrobu velkých a tvarově členitých přesných výkovků se používá hydraulických lisů. U složitějších tvarů, kde jsou výstupky a žebra výkovku umístěny v různě orientovaných rovinách, se používá tzv. skládaný nástroj s více dělicími rovinami, který zajišťuje vhodný tok kovu a následné vyjmutí z dutiny. Při výrobě několika desítek výkovků je zajištěna i ekonomičnost tohoto procesu.

3.2.3 Kování přesných výkovků s horní kyvnou zápustkou [5], [6], [10], [16]

U kování s horní kyvnou zápustkou vykonává horní zápustka vrtivý neboli kyvný pohyb. Nástroj se tak nedotýká celé vrchní plochy výkovku, ale pouze určité části plochy. Tím se dosahuje vysokých stupňů přetvoření při relativně malé síle. Celý proces tváření je vykonán na jeden zdvih s několika kyvnými cykly beranu, které jsou závislé na posuvu. Oproti konvenčnímu tváření se zde kyvná zápustka po výkovku odvaluje, tím je sníženo tření a materiál se tak může pohybovat bez většího odporu v radiálním směru. Dochází ke změně kluzného tření na tření valivé. Maximální napětí u tohoto způsobu je nepodstatně větší než napětí meze kluzu. Jelikož je zde menší styčná plocha a lepší charakter tření, tvářecí síla je potom až patnáctkrát menší než u konvenčního tváření. Princip kování přesných výkovků s horní kyvnou zápustkou je znázorněn na obr. 27.



Obr. 27 Princip kování s horní kyvnou zápustkou [5].

Kování s kyvnou zápustkou je nejvíce používáno u rotačních součástí s přírubou nebo u ozubených kol. Ovšem lze této technologii využít i u nerotačních součástí. Výkovky jsou vyráběny za pomoci hydraulických lisů a časté tvary výkovků pro kování s kyvnou zápustkou jsou zobrazeny na obr. 28.



Obr. 28 Příklady tvarů výkovků [6].

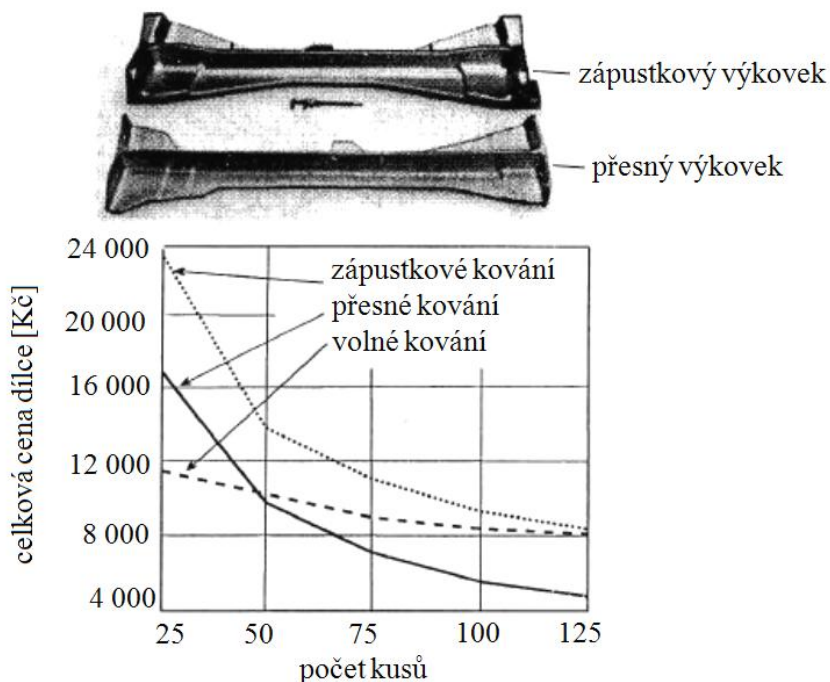
Horní zápustka je upnuta ve vrtivé hlavě. Pohyb vrtivé hlavy je zajištěn mechanismem vrtivého pohybu, který je uložen v horní části rámu stroje. Pohyb vrtivé hlavy je možné volit a lze volit ze čtyř způsobů pohybu. První způsob je kruhový pohyb, kde je nastavitelný kyvný úhel od 0° do přibližně 2° . Tento pohyb je vhodný pro kruhově symetrické tváření. Druhým způsobem je přímočarý pohyb se směrem s pootočením nastavitelným od 0° do 90° . Tento způsob je vhodný pro tváření nerotačních součástí ve dvou směrech. Třetím způsobem je vícelistový křivkový pohyb a je pro tváření součástí s povrchovou strukturou. Čtvrtý a zároveň poslední způsob je spirálový křivkový pohyb. Dobře se zde tvaruje střední část, a proto je tohoto způsobu využíváno u radiálního tváření.

4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ [10], [16]

Kování dosahuje významných změn díky rozsáhlému výzkumu a vývoji. Jednou z hlavních předností kování je usměrnění průběhu vláken v celém průřezu tvářené součásti. Tím je docíleno výrazné zlepšení mechanických vlastností výkovku. Zavedené technologie kování jsou zdokonalovány a současně jsou objevovány a prosazovány technologie nové. Změnou prochází kovací stroje a nástroje, výrobní postupy, přesnosti a kvality výkovků, používané materiály, způsoby ohřevu polotovarů a další. K rozvoji přispívá velkým dílem modelování technologického procesu, které může znázorňovat způsob vyplňování dutiny, rozdělení teplot, napětí a další důležité parametry.

Ekonomičnost výroby výkovku spočívá v určitých opatřeních. Mezi tyto opatření lze zařadit snížení materiálových ztrát a energetické náročnosti výroby, zajištění optimálního strojního a nástrojového vybavení, zvýšení životnosti nástroje vhodným mazáním a předehřevem a využití automatizovaných zařízení pro snížení pracovní vyčerpání. Důležité je také správné řešení manipulace s materiálem, které vede ke snížení výrobních časů.

V kusové výrobě a malosériové výrobě se lze setkat s volným kovááním, kterého se využívá pro předkovky u zápusťkového kování nebo pro výkovky velkých rozměrů. V sériové nebo hromadné výrobě se používá zápusťkové kování. Pro konvenční zápusťkové kování v otevřené zápusťce s výronkovou drážkou je vyžadováno zvětšení výchozího polotovaru a kovací síly. Důvodem je užití výronkové drážky, která slouží k zachycení přebytkového materiálu. Přídavek polotovaru na kov vytékající do výronkové drážky se obvykle pohybuje okolo 10% a z rozborů nákladů na výkovek je zjištěno, že cena materiálu často činí více jak 50% z konečné ceny výkovku. Dále je zvětšena tvářená plocha o plochu můstku v celé dělicí rovině, což vede k potřebnému zvýšení kovací síly o 30 až 40%. K eliminaci těchto problémů se používá metody přesného kování. Ta nám umožňuje vyrobit součást, která se tvarově a rozměrově blíží hotové součásti. Při přechodu z konvenčního na přesné kování bývá většinou ušetřeno 20 až 40% materiálu a často i převážná část dokončujících třískových operací. Ovšem jsou zde kladeny větší nároky na přesnost výkovku, což se projeví na ceně tvářecího zařízení. Na obr. 29 jsou zaznamenány náklady na výrobu dílce, zobrazeného v horní části obrázku, pro zápusťkové, přesné a volné kování.



Obr. 29 Náklady na výrobu dílce [10].

5 ZÁVĚR

Objemové tváření za tepla patří mezi jedny z nejzákladnějších způsobů výroby součástí a kování je jedna z nejčastěji používaných metod. Ruční kování má bohatou historii, ale v dnešní době je viděno jen zřídka. Mnohem používanější způsob je v současnosti kování, kde je používáno strojů. Toto kování nazýváme kovááním strojním a díky neustálému vývoji najde strojní kování jistě uplatnění i v budoucnosti.

Značně perspektivní je automatizace procesů s ohledem na negativní prostředí kováren. Tím se převážně rozumí znečištění, vysoké teploty a hluk. Dochází k redukování manuální práce a zpravidla i ke zvýšení efektivnosti výroby. Jako příklad může být uvedeno využití robotických manipulátorů, které jsou schopné přemísťovat výkovky větších rozměrů. Z důvodů vyšších nároků na produkci výroby tvarově složitějších výkovků jsou další velmi důležitou součástí počítačové simulace tvářecího procesu.

Tato bakalářská práce popisuje v úvodu krátce historii kování, zařazení kování a výhody, které z této technologie plynou. Následně je v práci obsažen přehled, popis a rozbor možných metod kování a postup při výrobě výkovku. V další části se práce zabývá kovacími stroji. Je provedeno jejich rozdělení a dále rozbor každého stroje, který obsahuje technologické požadavky, využití a princip činnosti stroje. Následuje přehled, popis a rozbor možných metod přesného kování. V poslední části práce je provedeno technicko-ekonomické zhodnocení metod kování.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. FOREJT, Milan. *FORM '00: Conference Proceedings 5th International Conference FORM 2000. Forming Technology, Tools and Machines*. 1. vyd. Brno: VUT Brno, 2000, 258 s. ISBN 80-214-1661-0.
2. Champion Motorsport. [online]. [cit. 2014-05-16]. Dostupné z: <http://www.championmotorsport.com/product-p/cms-mm20.htm>
3. Isothermal Forging. [online]. [cit. 2014-05-16]. Dostupné z: http://thelibraryofmanufacturing.com/isothermal_forging.html
4. Machined Component: Forging & Precision Machined Components. [online]. [cit. 2014-05-16]. Dostupné z: <http://www.indiamart.com/sivaneswari-enterprises/machined-component.html>
5. COMMITTEE, Prepared under the direction of the ASM International Handbook. *Metals handbook*. 9. ed., 1. printing. Editor Gunnar F Nordberg. Metals Park, Ohio: American Soc. for Metals, 1988, 975 s. ISBN 08-717-0020-4.
6. Orbital-forming. [online]. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: <http://www.zi-kaltumformung.de/orbital-forming.10.0.html?&L=1>
7. Precision Forging Outsourcing to China. [online]. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: <http://www.unitedgs.com/blog/precision-forging-outsourcing-to-china/>
8. Rozdělení způsobů tváření. [online]. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: http://www.dashofer.cz/download/pdf/stp/13_tvareni.pdf?wa=WWW13IX
9. Speciální kladiva a jiné ruční nářadí. [online]. [cit. 2014-05-16]. Dostupné z: <http://www.xyzkkladiva.cz/>
10. SAMEK, Radko, Zdeněk LIDMILA a Eva ŠMEHLÍKOVÁ. *Speciální technologie tváření*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 155 s. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 978-80-214-4406-5.
11. Svislé kovací lis. [online]. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: <http://www.smeral.cz/CZTvarKov.html>
12. Technologie objemového tváření – válcování. [online]. [cit. 2014-05-16]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/02.htm
13. Technologie objemového tváření – kování. [online]. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/03.htm
14. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013, 169 s. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 978-80-214-4747-9.
15. ČERMÁK, Jan. *Teorie a metodika tváření I: Volba výrobní technologie* [online]. [cit. 2014-05-15]. Dostupné z: http://www.strojar.com/upload/ost/obory/tech/TMTV_prednasky_prezentace.pdf
16. LIDMILA, Zdeněk. *Teorie a technologie tváření II*. Vyd. 1. Brno: Univerzita obrany, 2008, 106 s. ISBN 978-80-7231-580-2.
17. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Brno: VUT Brno, 1992, 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
18. KOTOUČ, Jiří. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Praha: ČVUT Praha, 1993, 349 s. ISBN 80-010-1003-1.
19. Tváření: Stroje pro tváření. [online]. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: http://web.spssbrno.cz/web/DUMy/STT,%20KOM/VY_32_INOVACE_20-02.pdf
20. JÍCHA, Antonín. Volné ruční kování. [online]. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: <http://minimoviefest.net/hlup/kovari>

21. Výroba výkovků. [online]. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z:
<http://www.swrjihlava.cz/index.php?page=vyroba>
22. Výrobní stroje a zařízení: Tvářecí stroje. [online]. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z:
http://www3.fs.cvut.cz/web/fileadmin/documents/12135-VSZ/download/obor_stud/VSZ_-_2351054/VSZ_-_Tvareci_stroje.pdf
23. SVOBODA, Pavel, Jan BRANDEJS, Jiří DVOŘÁČEK a František PROKEŠ. *Základy konstruování*. Vyd. 3., upr. a dopl. Brno: CERM, 2009, 234 s. ISBN 978-80-7204-633-1.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Popis	Jednotka
V_{pol}	Objem polotovaru	$[\text{mm}^3]$
V_v	Objem výkovku	$[\text{mm}^3]$
$V_{výr}$	Objem materiálu spotřebovaného na výronek	$[\text{mm}^3]$
V_o	Objem znehodnoceného materiálu při ohřevu polotovaru	$[\text{mm}^3]$

SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

Obr. 1 Výkovky	9
Obr. 2 Kovářské nástroje	11
Obr. 3 Kovářský kříž	11
Obr. 4 Náčrt výkresu součásti pro výkres výkovku	12
Obr. 5 Volba dělicí roviny	13
Obr. 6 Princip činnosti strojů pro rotační kování	14
Obr. 7 Princip pohybu kovátek	14
Obr. 8 Schéma protiběžného bucharu	16
Obr. 9 Schéma řemenové padací bucharu	16
Obr. 10 Postupová zápustka	17
Obr. 11 Uzavřená výronková drážka	17
Obr. 12 Svislé kovací lisy	19
Obr. 13 Příčné klínové válcování	19
Obr. 14 Otevřená výronková drážka	20
Obr. 15 Vodorovný kovací lis	20
Obr. 16 Svislé otevírání zápustky	20
Obr. 17 Postup přechování na horizontálních kovacích lisech	21
Obr. 18 Schéma vřetenového lisu	22
Obr. 19 Vložkovaná zápustka	23
Obr. 20 Výkovky vyrobené přesným kováním	24
Obr. 21 Izotermické kování	27
Obr. 22 Fáze deformace při kování výstupků v uzavřené zápustce	28
Obr. 23 Kování v uzavřené zápustce	29
Obr. 24 Kování na svislém a horizontálním kovacím stroji	29
Obr. 25 Kování v uzavřené dělené zápustce se selektivními pohyby jednotlivých částí ...	30
Obr. 26 Výkovek disku kola z Mg slitiny	30
Obr. 27 Princip kování s horní kyvnou zápustkou	31
Obr. 28 Příklady tvarů výkovků	31
Obr. 29 Náklady na výrobu dílce	32

SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK

Tab. 3.1 Charakteristiky ocelových výkovků	25
--	----